

# 適応ノッチフィルタによる周波数推定のための適応 アルゴリズムの高精度化および高精度化に関する研 究

著者	宗像 宏幸
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	192-193
発行年	2017-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00121427">http://hdl.handle.net/10097/00121427</a>

修士学位論文要約（平成29年3月）

# 適応ノッチフィルタによる周波数推定のための適応アルゴリズムの 高精度化および高精度化に関する研究

宗像 宏幸

指導教員：川又 政征， 研究指導教員：越田 俊介

## Improvement of Convergence Speed and Steady State Accuracy of Adaptive Algorithms for Adaptive Notch Filters

Hiroyuki MUNAKATA

Supervisor: Masayuki KAWAMATA, Research Advisor: Shunsuke KOSHITA

In this paper, we propose new adaptive algorithms for frequency estimation using an adaptive notch filter. First, we modify Piloted Adaptive Notch Filter (PANF) and propose a new algorithm that achieves lower steady state error than the conventional PANF. In addition, we propose a modified algorithm of Monotonically Increasing Gradient (MIG) algorithm to achieve faster convergence speed than the conventional MIG algorithm. We demonstrate the high performance of the proposed algorithms by some analyses and simulations.

### 1. はじめに

音響・通信・生体をはじめとする信号処理の各分野において、広帯域信号に狭帯域信号が重畳された信号に対して、その狭帯域信号を検出し、強調あるいは除去したいという場面が多く存在する。そしてその狭帯域信号の周波数は未知である場合が多く、周波数を推定する必要がある。周波数推定の手法には、様々なものがあるが、その一つに適応ノッチフィルタを用いた手法がある。

適応ノッチフィルタは、ノッチ周波数を適応的に変化させることができるノッチフィルタである。ノッチフィルタのノッチ周波数を狭帯域信号の周波数と一致させるように適応アルゴリズムによって制御することにより、狭帯域信号の周波数を推定することができる。適応ノッチフィルタにおけるノッチ周波数の制御には適応アルゴリズムと呼ばれる再帰更新式を用いる。一般的に周波数推定の手法では、ノッチ周波数が目標値に収束するまでの速度と収束して定常状態になっているときの誤差の2つの性能が求められる。しかし、収束速度と定常誤差には通常トレードオフの関係があり、いずれの性能も両立させる手法の実現は重要な課題となっている。収束速度と定常誤差を向上させるためのアプローチは現在いくつか提案されている。本稿では、周波数推定の高速度および高精度化それぞれについて実現する手法を提案する。

### 2. ステップサイズの見点からの高精度化

まず、ノッチフィルタの伝達関数の違いに着目した手法を検討する。適応ノッチフィルタにおけるノッチ

フィルタは、実現の容易さと急峻なノッチの実現という観点から、通常2次のIIRフィルタが用いられる。その中でも2種類の異なる伝達関数を持つノッチフィルタがよく用いられる。一つは Constrained Poles and Zeros に基づくノッチフィルタ (CPZ-NF)、もう一つは2次のオールパスフィルタに基づくノッチフィルタ (AP-NF) である。適応アルゴリズムでは、勾配法をベースとした手法が多く提案されており、その収束値の理論値はフィルタの伝達関数によって異なる。AP-NF の場合の収束値は、ノッチ周波数が推定したい周波数に一致するが、CPZ-NF の場合は推定したい周波数より少しずれた値となる。つまり、同じアルゴリズムであっても CPZ-NF を用いると最適値にバイアスが生じてしまう。このことから、このバイアスによる推

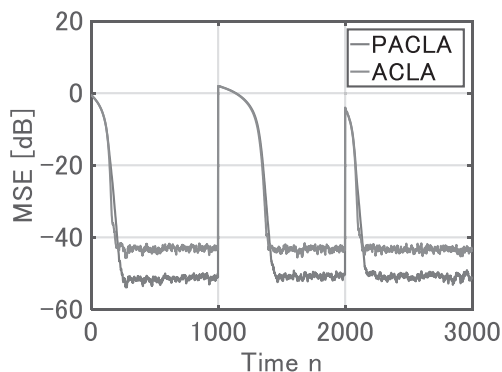


図3 LMIG アルゴリズムの MSE の収束

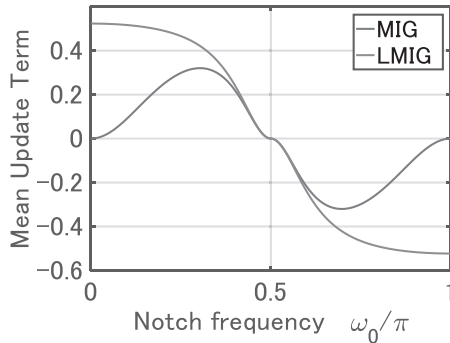


図2 LMIG アルゴリズムの平均更新項

定誤差を考慮する必要がある。一方、パイロット適応ノッチフィルタ<sup>1)</sup>ではノッチフィルタとして CPZ-NF が用いられており、高精度な推定の観点から望ましくない。そこで筆者は、パイロット適応ノッチフィルタを AP-NF で実現する手法を提案する。本稿では、AP-NF を用いた適応アルゴリズムとして Affine Combination Lattice Algorithm (ACLA)<sup>2)</sup>にパイロット適応ノッチフィルタを適用する。提案手法 (PACLA) の周波数推定のシミュレーションを行った結果を図1に示す。AP-NF に対してもパイロット適応ノッチフィルタの効果で高精度化できていることがわかる。

### 3. 平均更新項の観点からの高速化

高速化については適応アルゴリズムの平均更新項に着目した手法を検討する。勾配法は、フィルタ出力のパワーを評価関数とし、その勾配を更新項として用いる手法であり、適応アルゴリズムの中でも最もよく知られている手法である。一般的に評価関数はノッチ周波数に関して凸関数になること、つまり平均更新項としては単調減少関数になることが望ましいとされている。しかし、ノッチフィルタの出力のパワーは準凸関数となるため、目標値がノッチ周波数から離れた位置にある場合に更新の大きさが小さくなり、収束が遅くなってしまうことが知られている。そこで、この問題を改善すべく現在様々な手法が提案されている。単調増加勾配 (Monotonically Increasing Gradient: MIG) アルゴリズム<sup>3)</sup>は、評価関数が凸関数となるように、その勾配にあたる平均更新項を単調減少関数の形にしたアルゴリズムである。しかし、論文で得られた解析をもとにシミュレーションによる特性と合わせたところ、シミュレーションでは入力信号に雑音を含む場合に平均更新項が単調減少関数とならず、目標値から離れた位置の更新の大きさが小さくなることがわかつ

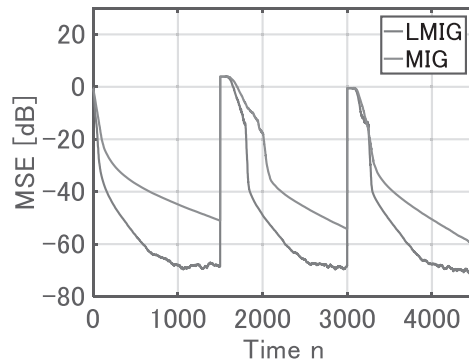


図3 LMIG アルゴリズムの MSE の収束

た。それを受けて本稿では、単調減少関数を実現する適応アルゴリズムとして Lattice MIG (LMIG) アルゴリズムを提案する。図2に LMIG アルゴリズムの平均更新項を示す。図のように LMIG アルゴリズムは平均更新項が単調減少関数となることで MIG アルゴリズムよりも高速な収束特性をもつ。LMIG アルゴリズムの周波数推定のシミュレーション結果を図3に示す。図より LMIG アルゴリズムが MIG アルゴリズムより高速に収束することを確認した。

### 4. まとめ

本稿では、適応ノッチフィルタを用いた周波数推定手法の高精度化および高速化を実現する手法を提案した。高精度化についてはノッチフィルタの伝達関数の違いによる収束値の精度に着目し、収束値にバイアスがかからないフィルタを用いることでパイロット適応ノッチフィルタを高精度化する手法を提案した。バイアスが生じないノッチフィルタに対してもパイロット適応ノッチフィルタが適用できていることを周波数推定のシミュレーションにより示した。また、高速化については平均更新項の観点から MIG アルゴリズムに着目し、平均更新項を単調減少関数とする手法を提案した。提案手法 LMIG アルゴリズムは単調減少関数となる平均更新項を実現し、MIG アルゴリズムより高速に収束することを平均更新項の解析および周波数推定のシミュレーションにより示した。

### 文献

- 1) Y. C. Lim, Y. X. Zou and N. Zheng, IEEE Trans. Signal Process., Apr. 2005.
- 2) S. Nakamura, S. Koshita, M. Abe and M. Kawamata, IEICE Trans. Fundamentals, Jul. 2015.
- 3) 杉浦陽介, 島村徹也, 信学論(A), Oct. 2016.